

Estetoscópio Digital: Sons Cardíacos e Pulmonares

Ana Beatriz Vitorino Pereira (up201905457), Mariana Sampaio Terroso (up202103314)

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Instrumentação Biomédica

Abstract— O estetoscópio é um dispositivo que já existe desde 1816 e que tem sofrido uma evolução nos últimos anos, nomeadamente no domínio digital. Neste trabalho, foi proposto um design de um estetoscópio digital em que os principais componentes correspondem a um microfone EM6050P, um sensor acústico (de estetoscópio analógico), algum processamento analógico realizado numa breadboard e um jack para transmitir o sinal para o computador. O processamento digital foi feito em Labview, de onde se obteve o ritmo cardíaco tendo por base os sons cardíacos S1 e S2 e se classificou em normal, taquicardia e bradicardia. Além disso, também foi desenvolvido uma versão do labview para sons gravados ou simulados. Em sítios com muito ruído de fundo, alguns dos sons gravados em tempo real ou ficavam com demasiado ruído para serem devidamente avaliados ou simplesmente não eram perceptíveis. No entanto, em sítios mais calmos, o sinal obtido era melhor, embora ainda muito instável. Deste modo, pode-se concluir que com algum aperfeiçoamento no processamento analógico o estetoscópio digital proposto poderá ser eficaz.

Index Terms— estetoscópio, microfone, sons cardíacos, ritmo cardíaco, processamento, sons pulmonares

I. INTRODUÇÃO

O estetoscópio médico é um dispositivo importante para detetar anomalias cardíacas e pulmonares. Desta forma, a automatização deste dispositivo seria uma vantagem, visto que os utentes poderiam ser monitorizados à distância, sem a presença médica. Sendo possível mandar em seguida o ficheiro de áudio para o médico poder ver, sem ser necessário o deslocamento do utente ao centro hospitalar. Além disso, o estetoscópio digital permite treinar alunos de medicina que ainda não se encontram familiarizados com os sons pulmonares e cardíacos, uma vez que este, melhora a precisão das doenças diagnosticadas e facilita o trabalho médico.

Este trabalho terá como objetivo a criação de um estetoscópio digital, a partir de um microfone acoplado a um estetoscópio, que se encontram ligados ao computador por um *jack*, sendo o processamento digital realizado em *LabView*.

É importante ter em mente, aquando da leitura deste trabalho no que consiste os sons cardíacos extraídos pelo estetoscópio. Os sons cardíacos resultam do fluxo do sangue através do coração a bater. O primeiro som do coração, S1, marca o início da sístole, relacionado com o fechamento das válvulas mitral e tricúspide. Por sua vez, o segundo som escutado, S2, marca o final da sístole e o início da diástole,

estando relacionado com o fechamento das válvulas aórtica e pulmonar.

II. METODOLOGIA

A. Processamento Analógico

O circuito de aquisição utilizado consiste então num estetoscópio acoplado ao microfone (EM6050P). O microfone utilizado tem um circuito de aquisição próprio como demonstrado a partir da Fig. 1 retirada da *datasheet*.

$R_L = 2.2K\Omega$ $V_s = 2.0V$ $C_1 = 10pF$ $C_2 = 33pF$ $C = 1\mu F$

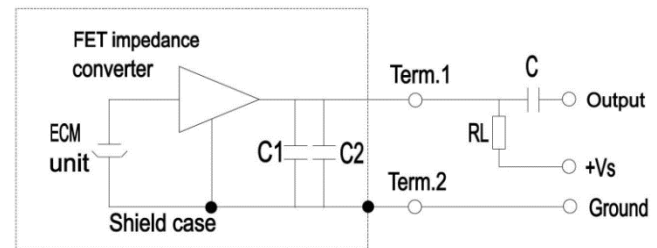


Fig.1. Circuito interno do microfone EM6050P e circuito de aquisição associado

Apesar de o microfone já apresentar um circuito de amplificação incorporado, foi necessário a implementação de um circuito de amplificação inversor, na *breadboard*, com ganho de 1000 vezes, como demonstrado na Fig. 2.

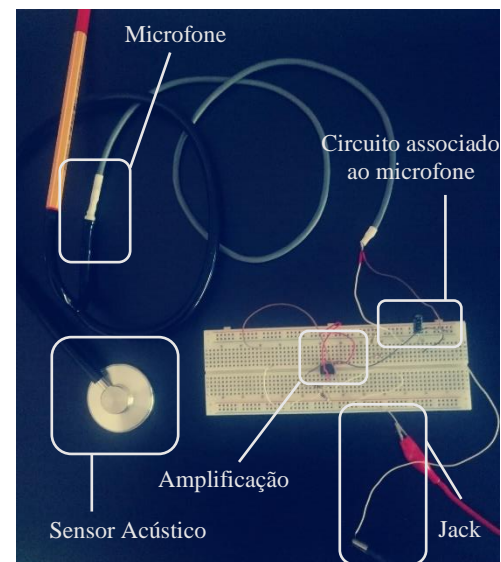


Fig.2. Circuito analógico de Aquisição

Os cálculos para o ganho do amplificador apresentam-se de seguida.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1} \Leftrightarrow -1000 = -\frac{10000k\Omega}{10k\Omega} \quad (1)$$

Foi também necessário utilizar um divisor de tensão para termos 2V à entrada do microfone e 6V à entrada do amplificador (TL082), tal como é sugerido nas *datasheet* destes.

Este circuito foi testado, ligando a sua saída a um osciloscópio, para verificar se os ganhos estavam corretos e se eram capazes de realizar o trabalho pretendido.

Para transmitir o sinal ao computador foi utilizado um *jack* de 3 pinos no qual o cabo foi adaptado com 2 crocodilos que foram ligadas ao sinal resultante da amplificação e ao ground.

O circuito utilizado encontra-se esquematizado na Fig.3.

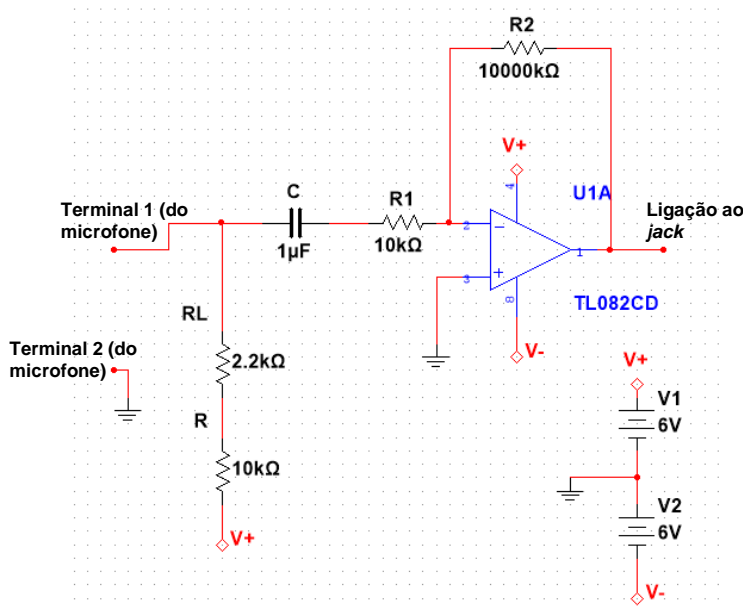


Fig.3. Esquema do circuito analógico de Aquisição

B. Conversão analógico-digital

A partir do *jack* foi possível transmitir o sinal obtido do circuito ao computador de modo a este poder ser adquirido e processado pelo *LabView*. Deste modo, recorreu-se ao bloco *Sound Input Configure VI*, onde são definidos pelo utilizador os parâmetros de frequência de amostragem, do número dos canais e do número de bits. Relativamente à versão de aquisição do som simulado, utilizou-se o bloco *Sound File Read Open VI* que permite obter um ficheiro de som a partir do *path* indicado pelo utilizador. Retirou-se também a frequência de amostragem do ficheiro e o número total de amostras por canal. Para ambas as versões, cada ciclo *while* de aquisição e processamento do sinal tem a duração de 2 segundos, o que corresponde a um número total de amostras por ciclo igual ao produto da taxa de amostragem por 2.

C. Processamento Digital

Em cada ciclo *while*, o sinal adquirido foi, em primeiro lugar, amplificado com um ganho de 20 e apresentado o respetivo gráfico. De seguida, aplicou-se um filtro passa - banda com uma banda de passagem de 5 Hz a 35 Hz (caso o utilizador quisesse ouvir o coração) e um filtro rejeita-banda com as mesmas frequências de corte (caso o utilizador quisesse ouvir os pulmões) [7]. Também se apresentou o respetivo gráfico. Além disso, o programa permite ao utilizador definir se quer ou não guardar o som gravado (através do bloco *Sound File Write Simple VI*) e enviar para um email (embora esta última parte seja apenas representativa de um possível desenvolvimento do programa). Ainda dentro deste ciclo *while* calculou-se o ritmo cardíaco instantâneo, isto é, para cada 2 segundos do sinal. Segundo [1] e [4] a segmentação do sinal do som do coração é essencial para obter uma correta classificação do ritmo cardíaco. Por esse motivo, foi primeiro aplicada a técnica de energia de Shannon (equação (2)) de modo a obter o envelope do sinal.

$$E(s) = -s(t)^2 \times \log(s(t)^2) \quad (2)$$

Para além do filtro passa-banda, foi também, após o cálculo do envelope do sinal, aplicado um filtro de média móvel de modo a eliminar ao máximo o ruído que ainda pudesse existir. Com o sinal processado procedeu-se então ao cálculo do ritmo cardíaco. Para isso, utilizou-se o bloco *Peak Detector VI*, no qual se definiu um *threshold* manualmente conforme os picos de S1 e S2, uma vez que a amplitude destes vai variar conforme o sinal de entrada. Em primeiro lugar, obteve-se o número de amostras entre dois picos e converteu-se em batimentos por minutos (equação (3)), sendo guardado os vários valores numa matriz. Depois, calculou-se a média desses valores (que primeiro passaram por um processo de seleção para eliminar eventuais valores absurdos), tendo em atenção, que como os picos detetados correspondem a ambos S1 e S2, o valor resultante será uma aproximação do dobro do ritmo cardíaco, pelo que se dividiu por dois.

$$\left[\frac{\text{batimentos}}{\text{min}} \right] = \frac{F_{\text{amostragem}} \times 60}{\Delta \text{dois picos consecutivos}} \quad (3)$$

Numa segunda parte do código de *LabView* procedeu-se à extração de características após o sinal ter sido gerado. Determinou-se então o ritmo cardíaco médio dos vários ritmos cardíacos instantâneos calculados ao longo do sinal e conforme este valor, o programa apresentava se correspondia a um ritmo cardíaco normal ou não. Para a taquicardia os valores do ritmo cardíaco são superiores a 100 batimentos por minuto e para a bradicardia inferiores a 60 batimentos por minuto, encontrando-se o ritmo normal entre os dois.

No *front panel* do LabView, da versão para um sinal real e não simulado, é possível verificar a existência de uma imagem explicativa dos sítios de auscultação cardíaca e pulmonar conjunta, de maneira a que os utilizadores do estetoscópio obtenham de forma mais eficaz os sons pretendidos.

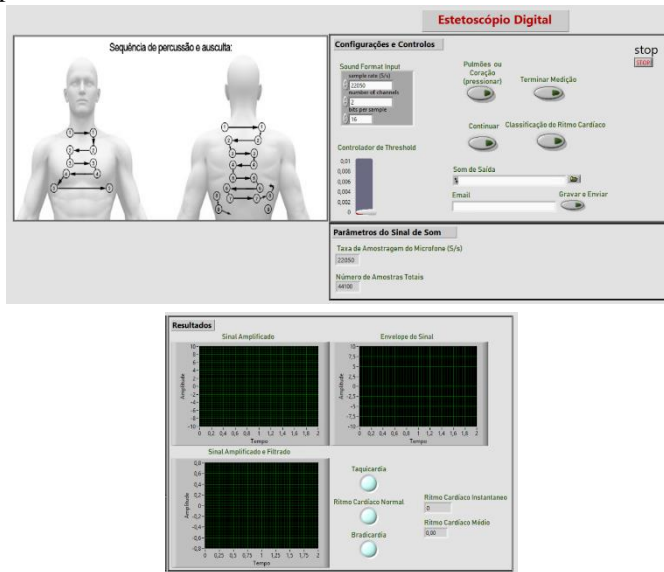


Fig.3. Front Panel do LabView para análise em tempo real

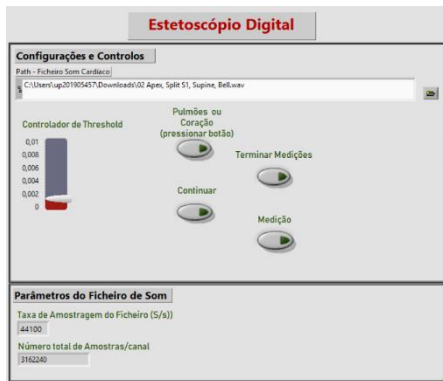


Fig.4. Front Panel do LabView para análise de um som gravado

D. Conversão digital-analógica

No LabVIEW foi implementada uma sequência de blocos que permitem ao utilizador ouvir os sons cardíacos ou os pulmonares, em ambas as versões. Para conseguir isto, foi inserido o bloco *Sound Output Configure VI* para configurar o dispositivo de saída para gerar dados analógicos. Para transformar os dados digitais num som analógico, a frequência de reconstrução foi definida para ser a mesma da frequência de amostragem do som de entrada.

Além disso, foi utilizado o *Sound File Write Simple IV*, para a gravação do som que está a ser adquirido em tempo real. Este som pode ser gravado num ficheiro WAV já existente, ou criar um novo. Também foi criado um botão que para além de quando pressionado gravar o som, também enviaria o ficheiro gravado para o email, aplicação, ou uma plataforma médica como a do SNS, para posteriormente ser analisado pelo médico de família, na versão simulada. Para isto funcionar teríamos de

criar uma interface com esse site/aplicação, contudo não temos as competências necessárias para o desenvolver. Desta forma, numa perspetiva futura isto poderia ser algo a vir a ser implementado, assim como uma aplicação para o nosso estetoscópio, visto que, nos estetoscópios digitais já existentes no mercado, esta interface é sempre existente.

III. Resultados e discussão

A. Aquisição do Sinal em tempo real

Em sítios com muito ruído de fundo o som adquirido em tempo real poderá ficar com demasiado ruído para ser devidamente avaliado ou não ser muito perceptível. No entanto, em sítios mais calmos, o sinal obtido será melhor, embora se possa verificar ainda alguma instabilidade.

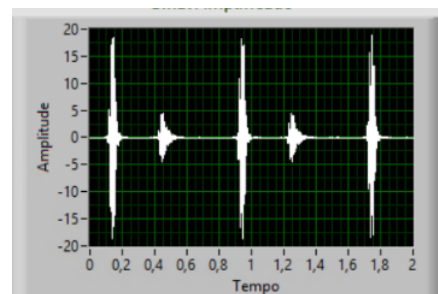
A partir do som que se está a adquirir é possível obter-se resultados como taquicardia, bradicardia ou ritmo cardíaco normal, como já foi referido anteriormente. Contudo, o ritmo cardíaco na maioria das situações apresentadas não corresponde ao esperado, o que pode dever-se, como já foi dito, a interferências do meio.

O *threshold* é definido pelo utilizador, sendo manual, o que poderá vir a ter influência nos resultados. De facto, para diferentes sinais de entrada há diferentes *thresholds* e assim sendo, S1 e S2 podem ter valores de amplitudes maiores ou menores. Se for escolhido um *threshold* demasiado grande poderá não se conseguir apanhar todos os S2, o que terá influência nos cálculos. Se por outro lado, o *threshold* definido for demasiado pequeno os valores obtidos poderão ser os pretendidos, ou então apanhar alguns picos sem significado. Para se tentar resolver os pormenores descritos acima, foi implementado um filtro passa-baixo analógico, com banda passante abaixo dos 40 Hz, contudo não houve melhorias significativas, sendo depois retirado da *breadboard*.

B. Aquisição do Sinal Gravado

De modo a testar o código de Labview sem as interferências do meio e de modo a exemplificar a análise de um som anteriormente gravado, recorreu-se à versão simulada.

Assim sendo, para o exemplo de som gravado utilizado, correspondente a um ritmo cardíaco normal, o resultado obtido (76,68 batimentos/minuto) corresponde ao esperado, uma vez que está dentro da gama esperada para um ritmo cardíaco normal (Fig.5.).



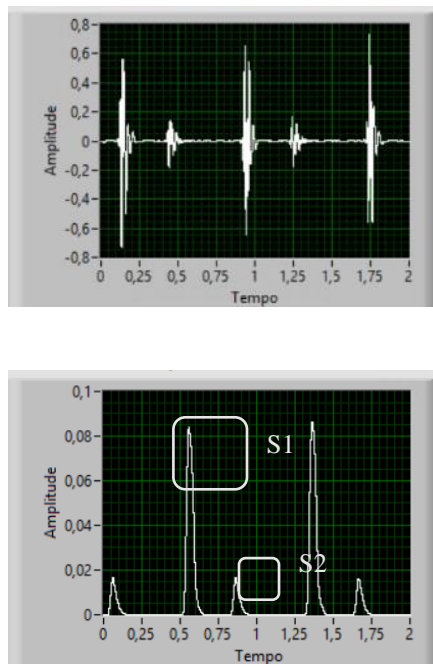


Fig.5. Gráficos obtidos do som gravado de um som cardíaco com um ritmo cardíaco normal (de cima para baixo: sinal amplificado, sinal amplificado e filtrado, envelope do sinal)

IV. CONCLUSÃO

Concluindo, o design de estetoscópio desenvolvido, embora com algumas limitações, tem potencial para melhorar. Para além de um melhor processamento analógico, trabalhos futuros poderão incluir a deteção de S3 e S4 (sons de baixa frequência durante a diástole e a sístole) e consequentemente de anomalias cardíacas. Além disso, como em muitos estetoscópios digitais já existentes, poderia ser desenvolvido, com recurso à inteligência artificial, uma imagem animada que mostrasse ao utilizador o sítio de auscultação em tempo real que estaria a ser analisado naquele momento. Por fim, poderia ser desenvolvido um programa que enviasse para o email do médico o ficheiro gravado.

REFERÊNCIAS

- [1] S. Shukla, S. K. Singh, and D. Mitra, "An efficient heart sound segmentation approach using kurtosis and zero frequency filter features," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 57, p. 101762, 2020, doi: 10.1016/j.bspc.2019.101762
- [2] S. Leng, R. S. Tan, K. T. C. Chai, C. Wang, D. Ghista, and L. Zhong, "The electronic stethoscope," *Biomed. Eng. Online*, vol. 14, no. 1, pp. 1–37, 2015, doi:10.1186/s12938-015-0056-y.
- [3] C. Ahlström, *Processing of the Phonocardiographic Signal – Methods for the Intelligent Stethoscope*, no. 1253, 2006.
- [4] M. E. H. Chowdhury et al., "Real-Time Smart-Digital Stethoscope System for Heart Diseases Monitoring," 2019, doi: 10.3390/s19122781.
- [5] Anand Bhaskar, "A simple electronic stethoscope for recording and playback of heart sounds", 2012, doi:10.1152/advan.00073.2012.
- [6] Agam Jain, Roshan Sahu, Arohi Jain, Thomas Gaumnitz, Rakesh Lodha, "Development of a low-cost electronic stethoscope -DIY Digital Stethoscope"
- [7] http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302012000300016